Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 14, No. 2, June. July. 2018, p. 283- 296

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 14، شماره 2، خرداد- تیر 1397، ص. 296-283

بررسی شرایط تولید و خشک‌کردن شیر موز به روش کف پوشی با مایکروویو و بررسی خصوصیات پودر

فاطمه پورحاجی[1]- فریده طباطبایی یزدی[2*]- سید علی مرتضوی[2]- محبت محبی[2]- مصطفی مظاهری تهرانی[2]

تاریخ دریافت: 1395/09/05
تاریخ پذیرش: 1396/04/15

چکیده

نوشیدنی‌های میوه‌ای بخشی از رژیم غذایی انسان را در بسیاری از مناطق جهان تشکیل می‌دهند. در این میان شیرموز طرفداران زیادی را به خود اختصاص داده است. استفاده از تکنولوژی‌های نوین نظیر استفاده از روش کف‌پوشی و خشک کردن با مایکروویو برای کاهش میزان صدمات خشک کردن استفاده می‌شود. از این رو در پژوهش حاضر، شرایط بهینه‌یابی تولید کف شیر موز به روش رویه سطح پاسخ بر مبنای سه متغیر سرعت گاز نیتروژن (2 -0/2 لیتر بر دقیقه)، میزان صمغ گزانتان (0/25 -0/15 درصد) و نسبت شیر به موز (1-6 و 1-3) بررسی گردید. همچنین تأثیر سه ولتاژ متفاوت دستگاه مایکروویو (360، 660 و 900 ولت) و دو ضخامت 3 و 5 میلی‌متر بر روی نمونه بهینه ارزیابی شد. براساس نتایج مشخص گردید نمونه تحت تأثیر گاز نیتروژن با سرعت 0/2 لیتر بر دقیقه، 0/22 درصد صمغ گزانتان و 3 درصد موز دارای کمترین دانسیته و بیشترین پایداری بود. از این رو تیمار فوق به‌عنوان نمونه بهینه انتخاب گردید و با انرژی مایکروویو خشک شد. نتایج این بخش به وضوح نشان داد نمونه خشک شده با ضخامت 3 میلی‌متر تحت ولتاژ 900 ولت دارای بالاترین میزان روشنایی *L و بالاترین دمای گذار شیشه‌ای و کمترین میزان رطوبت بود.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، کف شیرموز، دمای گذار شیشه‌ای، روش سطح پاسخ، صمغ گزانتان

مقدمه

موز به‌عنوان یکی از پرمصرف‌ترین میوه‌ها در جهان است و تقریباً در تمامی کشورهای نواحی گرمسیری کشت می‌شود. این میوه به دلیل داشتن مقادیر بالای نشاسته، قند، ویتامین‌های A و C ، پتاسیم، سدیم و منیزیم از ارزش تغذیه‌ای بالایی برخوردارست و منبع مناسبی از انرژی محسوب می‌گردد (Fernandes *et al*,. 2008). این میوه رده چهارم مهمترین محصولات غذایی (پس از برنج، گندم و ذرت) در کشورهای در حال توسعه را به‌خود اختصاص داده است (Andre *et al*,. 2004). موز در حالت رسیده پس از برداشت بسیار آسیب‌پذیر بوده و به دلیل محتوای رطوبتی بالا در معرض فساد میکروبی می‌باشد که همین امر فروش و صادرات آن را با مشکل مواجه نموده است. از این رو راهکارهای مختلفی برای غلبه بر این مشکلات میوه تازه وجود دارد. یکی از روش‌های نگهداری و ذخیره‌سازی موز پس از برداشت که با هدف افزایش ماندگاری صورت می‌گیرد، خشک کردن و حذف آب آن می‌باشد (Haard *et al*,. 1984, Vahideh *et al*,. 2008) که این امر به‌طور معمول با خشک‌کن‌های هوای گرم صورت می‌پذیرد. هرچند که با این روش می‌توان تا حدودی زیادی از فساد میکروبی ممانعت نمود اما به موجب آن با معضلاتی نظیر تغییر رنگ، مزه و بو و کاهش ارزش تغذیه‌ای رو به رو خواهیم بود. از این رو محققان صنعت غذا، خشک کردن به روش کف‌پوشی، بهره‌مندی از مزایای انرژی مایکروویو و غیره را به‌عنوان جایگزین خشک نمودن با هوای گرم پیشنهاد می‌کنند. خشک‌کردن با کف‌پوشی روشی است که در آن ماده‌غذایی به‌صورت کف در آمده و سپس خشک می‌شود. در این روش به دلیل افزایش سطح تماس و سرعت بالای انتقال رطوبت از نمونه کف، امکان خشک‌کردن ماده غذایی در دمای پایین‌تر و مدت زمان کمتر را مهیا می‌سازد. افزون بر این، ساختار متخلخل نمونه کف خشک شده، سبب جذب سریع‌تر آب و افزایش سرعت انحلال ماده غذایی خشک شده، می‌گردد (Tavakolipour,. 2009). از سوی دیگر خشک‌کردن با مایکروویو به دلیل سرعت بالا و صرفه‌جویی در میزان انرژی مصرفی، کیفیت بهتری را برای محصولات ارائه شده در پیش خواهد داشت (Sutar *et al*,. 2007). همچنین حرارت ایجاد

1و 2- به‌ترتیب دانش‌آموخته دکتری و استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
(*- نویسنده مسئول: Email: tabatabai@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v0i0.60551

شده تحت تأثیر انرژی مایکروویو سبب تعامل دوقطبی آب در داخل مواد غذایی می‌شود و مولکول‌های آب به‌دلیل قطبی بودن ذاتی هنگامی که در برابر حرارت قرار می‌گیرند، نوساناتی ایجاد می‌نمایند که این نوسانات سبب افزایش خروج آب می‌گردد (Datta *et al*,. 2001, Prabhanjan,. 1995). علاوه بر این در منابع آمده است که انرژی مایکروویو این قابلیت را دارد که به‌صورت مستقیم به داخل کف نفوذ کند و قبل از به‌هم پیوسته شدن حباب‌ها، آب توزیع شده در سطح آن تبخیر و سبب خروج آب از داخل کف شود (Kadam *et al*,. 2010). از این رو به‌نظر می‌رسد خشک کردن کف میوه‌ها با مایکروویو در تولید محصولی مطلوب و بازارپسند کارایی بیشتری نسبت به خشک‌کن‌های هوای گرم داشته باشد. در این زمینه مطالعات چندی صورت گرفته است که به برخی مختصراً اشاره می‌گردد. جیتانی و همکاران (2010) میزان جذب رطوبت و دمای انتقال شیشه‌ای پودر آناناس خشک شده به روش کف‌پوشی را مورد بررسی قرار دادند. لازم به ذکر است در تولید کف پوره سیب از 25 درصد آلبومین تخم‌مرغ و 0/5 درصد متیل سلولز استفاده شد. همچنین در این پژوهش خشک کردن نمونه با خشک‌کن هوای همرفتی و انجمادی و مایکروویو صورت گرفت. علاوه بر این باید گفت که در نمونه خشک‌شده به روش انجمادی سطوح متفاوت مالتودکسترین (صفر، 0/6 و 1/5 درصد) وجود داشت. براساس نتایج تحقیق مشخص گردید که روش خشک کردن هیچگونه تأثیری بر روی جذب رطوبت و دمای انتقال شیشه‌ای نداشت. این در حالی بود که افزودن مالتودکسترین به فرمولاسیون کف پوره آناناس باعث افزایش دمای انتقال شیشه‌ای به میزان30-10 درجه سانتی‌گراد و کاهش رطوبت گردید .(Jittanti *et al*,. 2010). از سوی دیگر زائین و همکاران (2011) جهت خشک نمودن کف انگور سیاه از دستگاه مایکروویو استفاده نمودند. در این پژوهش حجم پالپ، زمان خشک کردن و ضخامت و وزن پالپ متغیر قرار داده شد. براساس نتایج مشخص گردید افزایش قدرت مایکروویو و کاهش ضخامت پالپ، زمان خشک کردن را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. همچنین نتایج به وضوح نشان داد افزایش ضخامت پالپ در حفظ اسید آسکوربیک و میزان آنتوسیانین مؤثر بود. در نهایت یافته‌های این پژوهش حاکی از آن بود که جهت تولید یک نمونه مطلوب باید به‌ترتیب بهترین ضخامت و وزن نمونه 4/46 میلی‌متر و 56 گرم باشد. همچنین ولتاژ مناسب دستگاه مایکروویو 560 ولت و مدت زمان خشک کردن 8 دقیقه گزارش گردید (Xian-Zhe *et al*,. 2011).

از این رو با توجه به نیاز جامعه در تولید محصولات متنوع با ماندگاری بالا و در عین با کیفیت مطلوب و بازارپسند به‌ویژه از نظر ظاهری، در پژوهش پیش‌رو شرایط بهینه‌سازی تولید کف شیر موز به روش سطح پاسخ بر مبنای سه متغیر سرعت گاز نیتروژن (2-0/2 لیتر بر دقیقه)، میزان صمغ گزانتان (0/25-0/15 درصد) و نسبت موز به شیر (3-1 و 6-1) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین پس از تعیین تیمار بهینه، تأثیر سه ولتاژ متفاوت دستگاه مایکروویو (360، 660 و 900 ولت) و دو ضخامت 3 و 5 میلی‌متر بر روی نمونه بهینه ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

موز تازه واریته کاوندیش از بازار محلی مشهد خریداری و به‌صورت یک‌جا در دمای یخچال (4 درجه سانتی‌گراد) نگهداری شد. صمغ گزانتان با نام تجاری Rhodigeltm (Xanthan) Gum (E415) و شیر خشک بدون چربی به ترتیب از شرکت رودیا فرانسه و پالود نیشابور خریداری گردیدند.

آماده‌سازی کف شیر موز

موزه تازه پس از پوست‌گیری به قطعات کوچک به قطر 1 میلی‌متر تبدیل شد. جهت جلوگیری از قهوه‌ای شدن آنزیمی نمونه‌ها، عمل آنزیم‌بری با آب در حال جوش (100 درجه سانتی‌گراد) به‌صورت غوطه‌وری و در مدت زمان 3 دقیقه انجام گردید. به‌منظور سرد کردن قطعات موز برش خورده، نمونه‌ها در ظرف حاوی آب 10 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در ادامه به‌منظور تولید پالپ از مخلوط‌کن خانگی (بوش، CNSM.30EW، 600w، اسلوانی) با سرعت 1500 دور بر دقیقه و مدت زمان 1 دقیقه استفاده شد. پس از تهیه پالپ، با شیر خشک بدون چربی در سطوح مختلف (6-3 درصد وزنی/ وزنی) مخلوط وتوسط اولتراتوراکس (IKA® Labortechnik) با توان 10000 دور بر دقیقه در مدت زمان 5 دقیقه هموژنیزه گردید. همچنین صمغ گزانتان آماده شده در سطوح 0/15 و 0/25 درصد به مخلوط قبلی افزوده گردید. لازم به ذکر است جهت تهیه صمغ گزانتان، 1 گرم از صمغ با 100 میلی‌لیترآب توسط همزن مغناطیسی آزمایشگاهی مخلوط و به مدت 24 ساعت تا آبگیری کامل در یخچال (4 درجه سانتی‌گراد) نگهداری گردید. در انتها نمونه به دستگاه کف‌ساز طراحی شده توسط گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد انتقال یافت و دستگاه مورد نظر به مخزن گاز نیتروژن با سرعت‌های مختلف (2 -0/2 لیتر بر دقیقه) متصل گردید. دور همزن دستگاه 1600 دور بر دقیقه و مدت زمان انتخابی 5 دقیقه در نظر گرفته شد. پس از تولید کف شیر موز و انتخاب نمونه بهینه براساس کمترین دانسیته و بیشترین پایداری این نمونه مورد بررسی قرار گرفت.و سپس کف شیر موز در پلیت شیشه‌ای با ضخامت 3 و 5 میلی‌متر در مایکروویو در 3 ولتاژ (360، 660 و 900 ولت)تا رسیدن به وزن ثابت خشک گردید.

دانسیته کف

دانسیته کف مطابق بـا فرمـول زیـر و روش زائـین و همکـاران (2011) محاسبه گردید. لازم به ذکر است که کف تولیدی خیلـی بـا دقت از دستگاه کف‌ساز خارج گردید که این امر با هدف حفظ ساختار کف بود (Xian-Zhe *et al*,.2010).

$$\text{دانسیته کف} = \frac{\text{وزن کف (گرم)}}{\text{حجم کف (مترمکعب‌سانتی)}} \qquad (1)$$

پایداری کف

پایداری کف به این معناست که کف‌ها باید ساختار باز خودشان را طی فرایند خشک کردن حفظ کنند. این ساختار برای خشـک کـردن سریع‌تر و همچنین سهولت کار مطلوب است. بدین منظور مقـدار 50 گرم کف بلافاصله پس از تولید درون قیف بوخنر با قطر 80 میلی‌متر که درون آن یک توری پلاستیکی با مش 40 برای جلوگیری از خروج کف قرار داده شده بود، ریخته شد و روی استوانه مدرج 50 میلی‌لیتـر قرار گرفت. مایعی که در طول زمان به سبب نیروی گرانشی از کـف جدا شده بود، در استوانه جمع گردید. حجـم مـایع جـدا شـده بـه ازاء میلی‌لیتر پس از 1س اعت، مستقیماً از روی استوانه خوانده و ثبت شد (Stauffer,. 1999 و Bag *et al* ,. 2011)

رنگ

رنگ نمونه‌های تولید شده توسط دستگاه هانترلب به روشی کـه توسط لی و همکاران (2008) صورت پذیرفت. برای این منظور ابتـدا نمونه ها پودر و در کاپ مخصوص ریخته شـد تـا سـطح آن کـاملا پوشانده شود. در این آزمون مقادیر L*a*b تعیین گردید. مقادیر L که بین صفر تا 100 (سیاه تا سفید) متغیر است شاخص روشنایی، مقادیر مثبت a شاخص قرمزی و مقادیر منفی آن شاخص سـبزی محصـول می‌باشد. هم چنین مقادیر مثبت b شاخص زردی و مقادیر منفـی آن میزان آبی بودن محصول را نشان می‌دهـد و هیـو (Huee) براسـاس فرمول زیر محاسبه می‌شود (Stauffer, C. E. 1999).

$$Huee=\tan^{-1}(b^*/a^*) \qquad (2)$$

رطوبت

2 گرم نمونه در پلیت‌هایی که از قبل با قرار دادن در آون به وزن ثابت رسیده و توزین شده‌اند، ریخته شد و سپس پلیـت‌هـا در آون در دمای 105 درجه سانتی‌گراد به مدت 6 ساعت تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفت. پس از آن نمونه‌ها تا سرد شدن در داخل دسیکاتور قـرار گرفتند. در ادامه نمونه‌ها وزن شدند و محتوی رطوبتی از روی اختلاف وزن بین نمونه قبل و بعد از فرایند خشک کردن محاسبه و بر حسب ماده خشک بیان شد. میزان رطوبت نمونه‌ها طبق فرمول به‌دست آمد (AACC,. 2000).

$$\text{رطوبت (درصد)} = \frac{\text{وزن نمونه اولیه} - \text{وزن نمونه خشک شده}}{\text{وزن نمونه اولیه}} \qquad (3)$$

دمای گذار شیشه‌ای

برای اندازه‌گیری دمای‌گذار شیشه‌ای از دستگاه کالریمتر روبشـی افتراقـی (DSC,model OIT-500 Sanaf Electronics Co) استفاده شد. ابتدا دستگاه توسط اینیدیوم در یک پن آلومینیوم کالیبره گردید. پس از کالیبراسیون حدود 10-12 میلی‌گرم از نمونه در داخـل پن نمونه ریخته شد. یک پن آلومینیوم خالی بـه‌عنـوان مرجـع مـورد استفاده قرار گرفت. از نیتروژن مایع با میزان دبی 20 میلـی‌لیتـر بـر دقیقه جهت رساندن دمای نمونه‌ها از دمای محیط به دمای 10 درجه سانتی گراد استفاده شد. تمام آزمایش‌ها با نرخ گرمایشی یکسـان 10 درجه سانتی‌گراد بر دقیقه و بازه دمایی 10 تا 100درجه سـانتی‌گـراد انجام شد. در نهایت از ترموگرام بـه‌دسـت آمـده بـرای انـدازه‌گیـری دمای‌گذار شیشه‌ای استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

روش سطح پاسخ (RSM) مجموعه‌ای از تکنیک‌های ریاضـی و کاربردهای آماری است که برای مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل مسائل، فرمولاسیون و بهینه‌سـازی فراینـدها بـا بـه حـداقل رسـاندن تعـداد آزمایشات به‌کار می‌رود. در واقع در روش سطح پاسخ برای هر متغیـر وابسته به‌طور جداگانه مدلی تعریف می‌شود که اثـر اصـلی و متقابـل فاکتورها را بر روی هر متغیر به صورت مجزا بیـان مـی‌کنـد. بـرای آزمایشی که هدف آن بهینه‌سازی است، طرح مرکب مرکزی ارجحیت دارد (Qiu *et al*,. 2010).

در فاز اول این تحقیـق طـرح مرکـب مرکـزی متمرکـز شـده[1] (FCCD) با 3 متغیر مستقل و شش تکرار در نقطـه مرکـزی طـرح به‌منظور یافتن اثر متغیرهای مستقل (غلظت صمغ، نسبت موز به شیر و میزان گاز ورودی) بر خصوصیات کف شامل دانسیته و پایداری کف مورد استفاده قرار گرفت. سطوح متغیرهای مستقل به‌صورت حقیقی و کد شده برای متغییر های ثابـت در جـدول 1و 2 ارایـه شـده اسـت. مدل‌های مختلفی بر داده‌های حاصل از آزمایش‌ها برازش داده شد و با توجه به نتایج آنالیز واریانس بهترین مدل انتخاب گردیـد. سـپس بهینه‌سازی به روش سطح پاسـخ بـا اسـتفاده از نـرم‌افـزار Design Expert نسـخه 6/02 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, Minn., USA) صورت گرفت.

در فاز دوم تحقیق پیش رو که به بررسـی خشـک شـدن نمونـه بهینه با اسـتفاده از انـرژی مـایکروویو پرداختـه شـد، ولتـاژ دسـتگاه مایکرویو به صورت متغیر (360، 660 و 900 ولت) در نظر گرفته شد.

1 Face-Centered Centeral Composite Design

دومین متغیر این فاز، ضخامت کف (3 و 5 میلی‌متر) بود. به‌منظور آنالیز داده‌ها فاکتوریل از نرم‌افزار spss16 استفاده گردید

جدول 1- سطوح متغیرهای مستقل و کدهای مربوطه.

متغیر مستقل	نماد ریاضی	+1	صفر	-1
صمغ گزانتان (درصد)	X_1	0/25	0/2	0/15
نسبت موز به شیر خشک بدون چربی	X_2	1-3	1-4/5	1-6
گاز نیتروژن ورودی (لیتر بر دقیقه)	X_3	2	1/1	0/2

جدول 2- سطوح متغیرهای مستقل شرایط تولید کف شیر موز.

درصدموز به شیر خشک بدون چربی	گاز ورودی	صمغ زانتان	ردیف
3	2	0/25	1
3	0/2	0/25	2
4/5	2	0/2	3
4/5	1/1	0/15	4
6	2	0/25	5
6	2	0/15	6
4/5	1/1	0/2	7
6	0/2	0/25	8
6	1/1	0/2	9
3	2	0/15	10
3	0/2	0/15	11
4/5	1/1	0/2	12
4/5	1/1	0/2	13
4/5	1/1	0/25	14
4/5	0/2	0/2	15
3	1/1	0/2	16
4/5	1/1	0/2	17
6	0/2	0/15	18
4/5	1/1	0/2	19
4/5	1/1	0/2	20

نتایج و بحث

اثر متغیرهای مستقل بر دانسیته کف

دانسیته کف یکی از پارامترهای مهم در سیستم کف می‌باشد که بیانگر میزان هوای محبوس شده، طی فرایند هم‌زدن درون کف و بیان‌کننده توانایی کف است. میزان بالای هوای محبوس‌شده توسط زدن سبب گسترش تولید بالای کف تولید می‌گردد (Falade,. 2010).

به‌منظور بررسی روند تغییر متغیرهای پاسخ با متغیرهای مستقل و پیش‌بینی پاسخ دانسیته، مدل‌های مختلفی بر داده‌های حاصل از آزمون‌های طراحی شده، برازش گردید. تجزیه آنالیز واریانس (جدول 3) نشان داد که غلظت صمغ گزانتان و هوای ورودی به‌صورت خطی اثر معنی‌داری ($P<0/05$) بر دانسیته کف داشتند. این در حالی بود که هرچند افزایش میزان موز سبب افزایش دانسیته گردید اما این افزایش معنی‌دار نبود. همچنین نتایج مدل چند جمله‌ای درجه دوم صمغ گزانتان، هوای ورودی و میزان موز بیانگر اثر معنی‌دار ($P<0/05$) بود.

همچنین با قرار دادن مدل چند جمله‌ای درجه دوم در معرض الگوریتم حذف مدل تجربی نهایی در قالب فاکتورهای کدگذاری شده که اثر معنی‌داری روی دانسیته کف داشتند، معادله زیر ارائه گردید.

$$Fd= 0/47+0/028\, x_1 - 0/012\, x_2 - 0/018\, x_1^2 + 0/022\, x_2^2 - 0/18 x_3^2 - 0/02\, x_1x_2 + 0/028\, x_1x_3 - 0/02\, x_2x_3 \quad (4)$$

در این رابطه x_1 مقدار غلظت صمغ (درصد)، x_2 میزان هوای ورودی (لیتر بر دقیقه) و x_3 میزان شیرخشک بدون چربی به موز (درصد) بود. با توجه به مدل ارائه گردیده، افزایش میزان غلظت صمغ سبب افزایش دانسیته شد. همچنین میزان هوای ورودی در یک

ضریب منفی افزایش دانسیته را نشان داد. لازم به ذکر است که دانسیته کف شیر موز بین 0/39 و 0/57 بود.

از سوی دیگر تغییرات میزان دانسیته تحت تأثیر میزان گاز ورودی، غلظت صمغ گزانتان و میزان موز به‌صورت سه بعدی در شکل 1 و 2 آورده شده است. همانطور شکل 1 نشان می‌دهد با افزایش سطح صمغ گزانتان، دانسیته کف افزایش یافت. علت این امر را چنین می‌توان، توجیه نمود که صمغ از طریق افزایش ویسکوزیته، از ورود هوا به داخل مایع ممانعت نمود و حداکثر هوای محبوس شده در کف را کاهش داد. از این رو افزایش دانسیته مشاهده گردید (Karim,. 1999) نتایج پیش رو با نتایج بگ و همکاران (2011)، عزیزپور و همکاران (2013)، پاسبان (1392) و صلاحی (1394) که به‌ترتیب به تولید کف پالپ میوه bael، میگو، قارچ و طالبی پرداختند، مشابهت داشت (Azizpour *et al*,. 2013،Bag *et al*,.2011، Paseban, a. 2011 و Salahi, m. 2015.)). از سوی دیگر بر اساس نتایج ارائه شده در شکل 2 می‌توان گفت که افزایش میزان گاز ورودی تا سطح 1/1 لیتر بر دقیقه میزان دانسیته کاهش و پس از آن افزایش این پارامتر مشاهده گردید. به نظر می‌رسد در بالاترین سطح نسبت موز به شیرخشک (1:3درصد وزنی/ وزنی) در ابتدای فرآیند تولید کف با ورود میزان گاز به سیستم، به دام انداختن حباب‌های هوا در سطح بالایی اتفاق افتاد که به موجب آن دانسیته کاهش یافت. همچنین افزایش میزان دناتوراسیون پروتئین‌ها و غیرطبیعی شدن آن‌ها با اثرگذاری بر کاهش کشش سطحی در کاهش میزان دانسیته مؤثر بود (Raharitsif,. 2006). اما در سطوح بیش از 1/1 لیتر بر دقیقه با افزایش میزان گاز ورودی، گویچه‌های هوا در داخل مایع با یکدیگر ادغام شده و اندازه حباب ها افزایش یافت که این امر به نوبه خود افزایش دانسیته را به دنبال داشت. در ارتباط با افزایش درصد موز نسبت به شیر دانسیته کف تا حدودی افزایش یافت هر چند این افزایش معنی‌دار نبود. به احتمال زیاد علت این امر کاهش رقت کف شیر موز و افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته ناشی از افزایش غلظت مواد جامد و ممانعت از ورود هوا به درون سیستم طی فرایند هم زدن می باشد(Karim,.1999 و Bag *et al*,. 2011).

بررسی اثر متغیرهای مستقل بر پایداری کف

اندازه‌گیری میزان پایداری کف نقش مهمی را در ساختار کف بازی می‌کند. کف ایجاد شده در روش خشک کردن کف پوشی باید پایدار باشد و در طول فرایند خشک کردن، ساختار حباب‌ها را حفظ نماید. چناچه ساختار کف متلاشی شود زمان خشک کردن افزایش خواهد یافت و در نتیجه کیفیت محصول خشک شده، کاهش می‌یابد (Falade, 2010). انرژی بالای موجود در سطح مشترک هوا– مایع و اختلاف دانسیته بین فاز باعث می‌شود که کف از نظر ترمودینامکی ناپایدار باشد (Maskan, 2002). علاوه بر این سطح در دسترس، سایز حباب‌ها، توزیع اندازه ذرات و کشش سطحی در پایداری کف نقش سازنده‌ای دارند (Devries, 1958). بنابراین علاوه بر دقت در روش تولید کف، استفاده از عامل کف‌زا و پایدارکننده آن نقش به سزایی در این امر دارد که در این تحقیق به آن پرداخته شده است.

تجزیه آنالیز واریانس (جدول 3) به وضوح بیانگر آن بود که غلظت صمغ، سرعت گاز ورودی و میزان سطح مصرفی موز بر میزان پایداری کف اثر معنی‌داری ($P<0/01$) داشت. همچنین معادله درجه دوم غلظت صمغ گزانتان اثری غیرمعنی‌دار از خود نشان داد. در حالیکه سرعت گاز ورودی و میزان موز مصرفی به‌ترتیب دارای اثر معنی‌دار در سطح ($P<0/01$) و ($P<0/05$) بودند. لازم به ذکر است که عبارت حجم زهکشی در ارتباط با پایداری کف است. بدین معنی که هرچه حجم زهکشی یا همان آب اندازی کمتر باشد، کف از پایداری بیشتری برخوردارست.

با قرار دادن مدل چند جمله ای درجه دوم در معرض الگوریتم حذف مدل تجربی نهایی در قالب فاکتورهای کد گذاری شده که اثر معنی‌داری روی دانسیته کف داشتند، معادله زیر ارائه گردید.

$$Dv= 8/86- 26/17\ x_1 + 3/17\ x_2 - 3/11\ x_3 + 10/9\ x_1^2 - 0/538\ x_2^2 + 0/34\ x_3^2 - 9/4\ x_1x_2 + 0/4\ x_1x_3 + 0/18\ x_2x_3 \qquad (5)$$

در این رابطه x_1 مقدار غلظت صمغ (درصد)، x_2 میزان هوای ورودی (لیتر بر دقیقه) و x_3 میزان موز (درصد) بود. با توجه به مدل ارائه گردیده افزایش صمغ گزانتان در یک ضریب منفی سبب کاهش آب‌اندازی (افزایش پایداری) شد. این در حالی بود که میزان هوای ورودی و سطح مصرفی موز با ضریب مثبت سبب افزایش آب‌اندازی (کاهش پایداری) گردید.

از سوی دیگر تغییرات میزان پایداری تحت تأثیر میزان گاز ورودی، غلظت صمغ گزانتان و میزان موز به صورت سه بعدی در شکل 3 و 4 آورده شده است. همانطور شکل 3 نشان می‌دهد صمغ گزانتان نقش اساسی و مهم در پایداری کف داشت. به‌طوری که افزایش میزان آن می‌تواند با افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته سبب افزایش مقاومت دیواره حباب‌های هوا گردد و از فروپاشی آن‌ها ممانعت نماید(Prins, 1988).

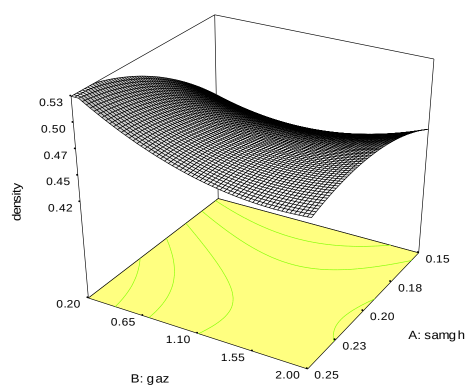
از سوی دیگر بگ و همکاران (2011)، پاسبان (1391)، عطاردی (1394) و صلاحی (1394) در مطالعه خود به‌ترتیب در زمینه تولید بکرایی، قارچ دکمه‌ای کف ریز جلبک اسپرولینا و طالبی بیان نمودند که افزایش ویسکوزیته فاز مایع سبب ایجاد یک ساختار شبکه‌ای در فاز پیوسته شده که به موجب آن دیواره فصل مشترک حباب‌ها از شکسته شدن حفظ می‌گردد و از این طریق شرایط بهبود پایداری کف مهیا می‌گردد (Bag *et al*,.2011 ،Paseban,. 2011 ،Atarodi, 2014 ،Salahi. 2015) در ارتباط با میزان گاز ورودی باید گفت که

در پایین‌ترین میزان صمغ با افـزایش گـاز نیتـروژن افـزایش میـزان آب‌اندازی و کاهش پایداری می‌گردد. علت این امـر را مـی‌تـوان بـه فروپاشی حباب‌های گازی نسبت داد.

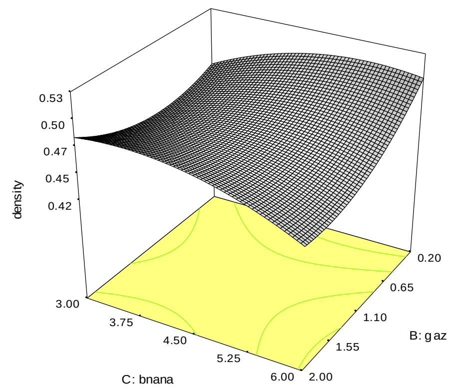
همچنین شکل 4 بیانگر آن است که افزایش سطح مصرفی موز، مقدار مایع جدا شده کاهش (آب اندازی کاهش) و پایداری کف شـیر موز افزایش یافت. فالاده و همکاران (2003) در مطالعه خود به نتایج مشابهی دست یافتنـد و بیـان نمودنـد کـه افـزایش مـواد جامـد در سوسپانسیون از طریق افزایش ویسکوزیته بر بهبود پایداری کف نقش داشت (Falade *et al*,. 2010) علاوه بر این براساس نتایج به‌دسـت آمده (شکل 4) مشخص گردید کـه بیشـترین میـزان آب‌انـدازی یـا کمترین پایداری کف در بالاترین سرعت هوای ورودی بـود. در ایـن زمینه جرمیک و همکاران (1994) بیان نمودند اگر سایز حبـاب‌هـای هوا در سوسپانسون کوچکتر از حد معمول گردد، پایداری کف نسـبت به زمانی که حباب‌های بزرگتر در نمونه موجود اسـت بـه‌طـور قابـل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (Germick *et al*,. 1994) ایـن امـر بـه دلیل گرادیـان بـردار پلانتـر (بـرخلاف جاذبـه زمـین) اسـت کـه در حباب‌های بزرگتر، کمتر می‌باشد. به عبارت دیگر، میزان بالایی از آب در داخل کـف همگـن سـبب کـاهش پلانتـر و افـزایش آب انـدازی می‌گردد (Falade *et al* ,.2010).

جدول 3- نتایج تجزیه آنالیز واریانس مدل‌ها تحت اثر متغیرهای مستقل بر میزان دانسیته و پایداری کف به‌منظور انتخاب مدل مناسب برای پاسخ‌های اندازه‌گیری شده

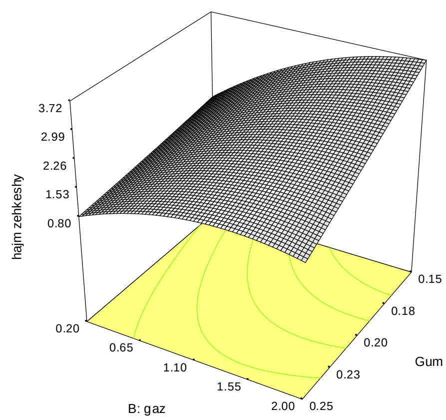
		Draning voloum				foam density		
Source	**df**	**coeff**	**sum square**	**p value**	**df**	**coeff**	**sum square**	**p value**
model	9	2.279	37.818	< 0.0001	9	0.4712	0.024	< 0.0001
x_1	1	-0.71	5.041	< 0.0001	1	0.028	0.00784	< 0.0001
x_2	1	0.75	5.62	< 0.0001	1	-0.012	0.00144	0.0094
x_3	1	1.5	22.5	< 0.0001	1	-0.002	0.00004	0.6048
X_1^2	1	0.027	0.00204	0.8813	1	-0.0181	0.000909	0.0290
X_2^2	1	-0.472	0.61	0.0241	1	0.0218	0.0013	0.0121
X_3^2	1	0.7772	1.66	0.0014	1	-0.0181	0.0009	0.0290
x_1x_2	1	-0.425	1.445	0.0022	1	-0.02	0.0032	0.0007
x_2x_3	1	0.3	0.72	0.0165	1	0.0275	0.006	< 0.0001
X_2x_3	1	0.25	0.5	0.0376	1	-0.02	0.0032	0.0007
residual	10		0.871		10			
lack-of-fit	5		0.14	4.176958	5			0.5398
Puree eror	5		0.0336		5			
Total	19				19			
R^2		0.97				0.946		
Adj-R		0.95				0.897		
Pre-R		0.83				0.657		
Adeq-Precion		28.3				20.90		



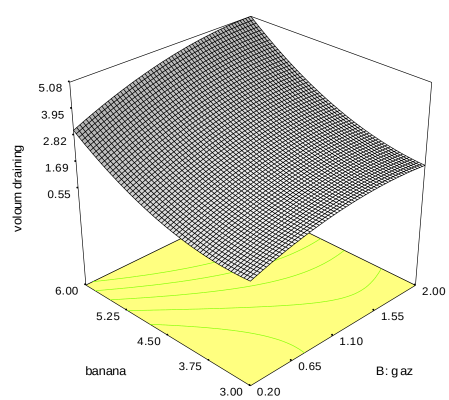
شکل 1- سطح پاسخ اثر صمغ گزانتان و گاز نیتروژن بر میزان دانسیته کف شیر موز.



شکل 2- سطح پاسخ اثر میزان موز و سرعت گاز نیتروژن بر میزان دانسیته کف شیر موز.



شکل 3- سطح پاسخ اثر صمغ گزانتان و گاز نیتروژن بر حجم زهکشی کف شیر موز (*حجم زهکشی یا میزان آب‌اندازی با پایداری رابطه عکس دارد)



شکل 4- سطح پاسخ اثر میزان موز و گاز نیتروژن بر حجم زهکشی کف شیر موز (*حجم زهکشی یا میزان آب‌اندازی با پایداری رابطه عکس دارد).

بهینه‌سازی

در این بخش (جدول 4) هدف از بهینه‌یابی بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی کف شیر موز بود. تنظیمات انجام شده جهت بهینه‌یابی، شامل متغییرهای فرآیند (سرعت گاز نیتروژن ورودی برحسب لیتر بر دقیقه) در محدوده آزمایش و متغییرهای فرمولاسیون (غلظت صمغ گزانتان و موز برحسب درصد) در محدوده فرآیند بود. همچنین خصوصیات تولید کف براساس کمینه دانسیته و بیشینه پایداری تنظیم گردید. نتایج این بخش به وضوح نشان داد زمانی که میزان صمغ گزانتان 0/22 درصد، سرعت هوای ورودی 0/2 لیتر بر دقیقه و میزان موز 3 درصد بود، کمترین میزان دانسیته و بیشترین میزان پایداری کف شیر موز حاصل گردید. از این رو نمونه مذکور به‌عنوان نمونه بهینه جهت خشک شدن با مایکرویو انتخاب گردید.

جدول 4- بهینه‌سازی تولید کف شیر موز

Independent variable	Minimum	Maximum	Optimal value
نسبت موز به شیر	1-3	1-6	1-3
درصد صمغ (درصد)	0/15	0/25	0/25
گاز ورودی نیتروژن (لیتر بر دقیقه)	0/2	2	0/2

مؤلفه‌های رنگی

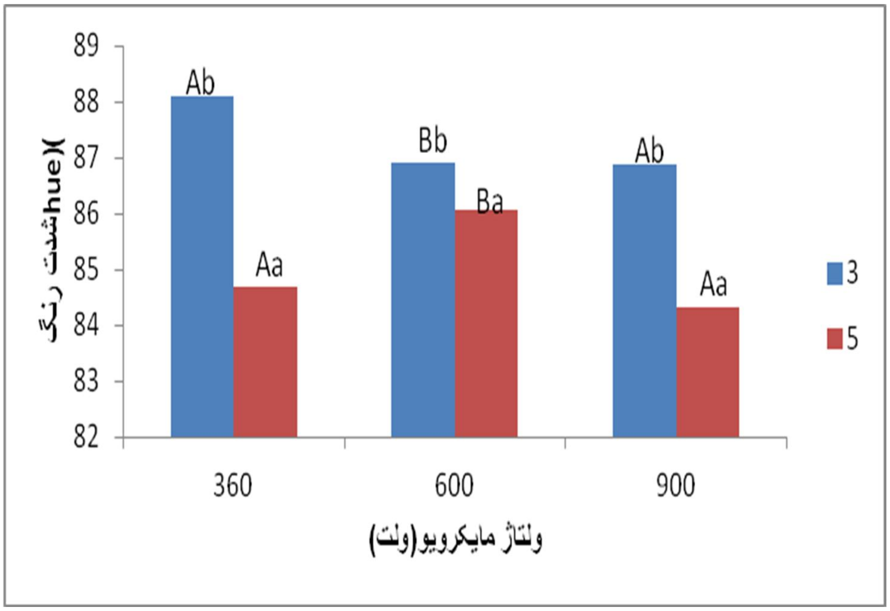
نتایج ارزیابی مؤلفه‌های رنگی (L*a*b) و شدت رنگ (Hue) به‌ترتیب در جدول 5 و شکل 5 آورده شده است. همانگونه که نتایج نشان می‌دهد، ولتاژ متفاوت مایکرویو و ضخامت کف شیر موز اثر معنی‌داری در سطح 5 درصد بر میزان مؤلفه‌های رنگی محصول تولیدی و شدت رنگ آن داشت. به‌طوری که بالاترین میزان مؤلفه رنگی L* مربوط به نمونه خشک‌شده با ضخامت 3 میلی‌متر و ولتاژ 660 مایکرویو بود. در حالی که کمترین میزان آن در نمونه خشک‌شده با ضخامت 5 میلی‌متر و ولتاژ 360 مایکرویو مشاهده گردید. کاهش این مؤلفه رنگی به معنی تیره شدن رنگ نمونه‌ها می‌باشد که این امر در ارتباط مستقیم با افزایش ضخامت محصول و ولتاژ دستگاه مایکرویو بود. البته لازم به ذکر است که نوع خشک‌کن و افزایش دمای خشک کردن نیز می‌تواند بر این مهم اثرگذار باشد و مرغوبیت محصول نهایی را کاهش دهد. در این راستا ارسلان و همکاران (2010) با مطالعه خود در زمینه خشک کردن برگ‌های نعنا فلفلی به این نتیجه دست یافتند که با افزایش درجه حرارت خشک کن و طولانی شدن زمان آن، مؤلفه رنگی L* به‌طور چشمگیری کاهش یافت و نمونه‌ها تیره‌تر شدند. از این رو به احتمال زیاد تیره شدن نمونه‌های تولیدی (در پژوهش پیش رو) با افزایش ولتاژ مایکرویو و ضخامت کف شیر موز به‌ترتیب به دلیل افزایش میزان حرارت تولید شده در اثر انرژی مایکروویو و افزایش زمان خشک کردن باشد (Arslan *et al*,.2010) سیسال و همکاران (2006) از مایکروویو با توان 900 وات برای خشک کردن جعفری استفاده کردند. براساس نتایج این محققان مشخص گردید که هرچه مقدار نمونه گیاهی قرار گرفته شده در خشک‌کن افزایش یافت، هرچند که از مدت زمان خشک کردن کاسته شد اما به دلیل افرایش ضخامت محصول، کیفیت ظاهری نمونه‌ها به‌خصوص رنگ تقلیل یافت و تیرگی رنگ و کاهش مؤلفه رنگی L* مشاهده گردید (Soysal *et al*., 2006) از سوی دیگر باید گفت که یافته‌های پیش رو به وضوح نشان داد که بیش‌ترین میزان مؤلفه رنگی a* به نمونه با ضخامت 5 میلی‌متر و خشک شده با ولتاژ 900 ولت و کم‌ترین مقدار این شاخص متعلق به نمونه با ضخامت 3 میلی‌متر و خشک شده با ولتاژ 600 ولت دستگاه مایکرویو بود. از این رو به‌نظر می‌رسد افزایش ضخامت کف شیر موز به دلیل اثرگذاری بر افزایش زمان خشک شدن موجبات افزایش قرمزی یا مؤلفه رنگی a* را فراهم نمود. همچنین نتایج حاکی از بالاترین میزان مؤلفه رنگی b* در نمونه با ضخامت 3 میلی‌متر و خشک شده با ولتاژ 600 ولت بود که این امر نشان‌دهنده حفظ بهتر رنگدانه‌های طبیعی و زرد رنگ موجود در موز می‌باشد. در این راستا جوکار و همکاران(1391) بیان کردند که با افزایش سرعت جریان هوا و ضخامت محصول (انار) مؤلفه رنگی L* کاهش یافت که علت تیرگی نمونه ها را افزایش مدت زمان خشک شدن دانستند. این محققان نیز گزارش کردند با افزایش ضخامت محصول و سرعت جریان هوای داخل خشک‌کن مؤلفه رنگی a* کاهش مؤلفه رنگی b* افزایش یافت (Jokar *et al*,. 2011).

علاوه بر این نتایج ارزیابی شدت رنگ که با عنوان شاخص هیو (Hue) نیز بیان می‌شود، نشان داد که نمونه با ضخامت 3 میلی‌متر و خشک شده با ولتاژ 600 ولت دستگاه مایکرویو از بالاترین میزان این پارامتر برخوردار بود. هالارد و همکاران (2006) بیان کردند که پایین بودن مقدار شاخص هیو رنگ نشان‌دهنده افزایش مقدار رنگ قهوه‌ای ناشی از واکنش‌های قهوه‌ای شدن است. بنابراین این احتمال وجود دارد که در ولتاژ 900 ولت دستگاه مایکرویو و نمونه‌های خشک شده با ضخامت 5 میلی‌متر بیشترین میزان واکنش‌های قهوه‌ای شدن اتفاق افتاده است که تحت تأثیر آن شدت رنگ یا شاخص هیو افزایش یافته است (Hawlader *et al*,.2006). واجدیلو و همکاران (2007) اثر سطوح متفاوت دمای خشک کردن بر رنگ نمونه‌های فلفل قرمز را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که با

افزایش دما از میزان مؤلفه رنگی مؤلفه رنگی *L کاهش کاسته شد و نمونه‌های خشک شده در دمای 90 درجه سانتی‌گراد نسبت به سایر نمونه ها تیره‌تر بودند (Wojdyło *et al*,. 2007).

جدول5-اثر ضخامت و ولتاژمایکروویو بر شاخص های رنگی(b،a،l)

ضخامت	ولتاژ مایکروویو(ولت)	L*	a*	b*
	300	75/29	1/01	18/64
3	600	77/68	0/71	21/37
	900	77/64	1/05	19/63
	300	74/73	1/62	17/54
5	600	76/36	1/37	20/10
	900	77/58	1/81	18/22



شکل 5- اثر ضخامت و ولتاژمایکروویو بر شاخص شدت رنگ پودر شیر موز

رطوبت

نتایج ارزیابی میزان رطوبت نمونه‌های تولیدی در جدول 6 آورده شده است. همانگونه که نتایج نشان می‌دهد، سطوح متفاوت ولتاژ مایکروویو بر میزان رطوبت دارای اثر معنی‌داری ($P<0.01$) بود. به‌طوری که با افزایش ولتاژ دستگاه از میزان رطوبت کاسته شد و به‌ترتیب کمترین و بیشترین میزان رطوبت در نمونه‌های خشک‌شده با ولتاژ 900 و 360 ولت مشاهده گردید. این در حالی بود که ضخامت 3 و 5 میلی‌متر اثر قابل ملاحظه‌ای بر میزان رطوبت کف شیر موز نداشت. هرچند که این انتظار وجود داشت که نمونه‌های دارای ضخامت 5 میلی‌متر در مقایسه با نمونه های دارای ضخامت 3 میلی‌متر از رطوبت بالاتری برخوردار باشند. زیرا به دلیل پایین بودن نرخ انتقال حرارت در ضخامت‌های بالا و احتمالاً فروپاشی ساختار کف از خروج رطوبت جلوگیری می‌شود. از سوی دیگر ذکر این نکته الزامی است که افزایش میزان ولتاژ مایکروویو به دلیل حرارت بالاتری که ایجاد می‌کند به‌عنوان یک عامل جهت خروج رطوبت از مواد غذایی می‌باشد. بنابراین قابل پیش‌بینی بود که با افزایش ولتاژ دستگاه از میزان رطوبت کاسته شود.

همچنین باید گفت که دامنه مطلوب رطوبت برای نمونه‌های پودری کمتر از 5 درصد می‌باشد. در صورت بالا بودن رطوبت پودرهای غذایی (به‌طور معمول بیش از 5 درصد)، امکان تغییرات فیزیکی نامطلوب افزایش می‌یابد و به موجب آن افزایش دانسیته و کاهش جریان‌پذیری و حلالیت پودرها حاصل می‌گردد (Taufiq *et al*,. 2015) در این راستا کولاوول و همکاران (2010)، کادام و بالاسوبرامانیان (2011) و صلاحی (1394) به‌ترتیب با خشک کردن

کف موز، آب گوجه‌فرنگی و طالبی نتایج مشابهی را گـزارش نمودنـد (Kadam et al,. 2011 ، Kolawole et al,. 2010 و Salahi,.2015).

دمای‌گذار شیشه‌ای

تعیین شرایط نگهداری پودر میوه‌ها جهت دستیابی به پایداری بالا در طول انبارداری با ارزیابی دمای‌گذار شیشه‌ای امکان‌پذیر است کـه می‌توان با نگهداری محصول در دمای پایین‌تر از دمای‌گذار شیشه‌ای و به‌کارگیری درب‌بندی هرمتیک جهت ممانعت از تبادل رطوبـت بـا محیط از وقوع واکنش‌های مخرب جلوگیری کرد. در واقع با استفاده از تئـوری دمـای‌گـذار شیشـه‌ای مـی‌تـوان درک درسـتی از خـواص سیستم‌های غذایی داشت و تغییراتی که طی فرایند نگهـداری اتفـاق می‌افتد را بررسی نمود.

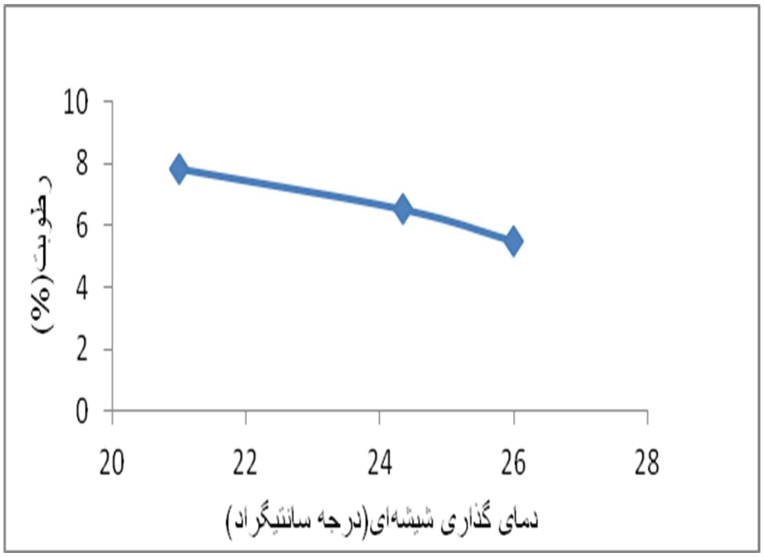
جدول 6-بررسی اثرضخامت و ولتاژمایکروویو بر رطوبت و دمای گذار شیشه ای

ضخامت (mm)	ولتاژمایکرویو(v)	رطوبت (%)	دمای‌گذار شیشه‌ای (c)
	360	7/86Aa	30Ca
3	650	6/54Ba	32/33Ba
	900	5/44Ca	33/66Aa
	360	7/80 Aa	21Cb
5	650	6/51Ba	24/33Bb
	900	5/49Ca	26Ab

در جدول5 مقادیر دمای گذار شیشه‌ای پودر شیر مـوز در شـرایط مختلف خشک کردن (ولتاژ متفاوت مایکرویو و ضخامت‌های مختلف نمونه تولیدی) نشان داده شده است. نتایج به وضوح نشان داد ولتـاژ بیشتر خشک‌کن سبب افزایش و بالا رفتن ضخامت کـف شـیر مـوز موجب کاهش دمای‌گذار شیشه‌ای شد. دلیل پایین بودن دمـای‌گـذار شیشه‌ای کف شیر موز در ولتاژ پایین‌تر مایکرویو ناشی از حضور قنـد فروکتوز، گلوکز، سـاکارز و اسـیدهای موجـود در پـودر (نظیـر اسـید سیتریک) در نمونه می‌باشد. لازم به ذکر است که این قندها و اسیدها دمای‌گذار شیشه‌ای پایینی دارند و به دلیل وزن مولکولی پایین اجزاء، تحرک مولکولی زیادی هنگامی که دما اندکی بـالاتر از دمـای‌گـذار شیشه‌ای می‌رسد، از خود نشان می‌دهنـد (Jay S. And Das, H., 2004). از سوی دیگر این انتظار وجود داشت که با افزایش ضـخامت کف شیر موز به دلیل مشکل انتقال حرارت و در نتیجه بـالاتر بـودن محتوی رطوبتی، مقدار دمـای‌گـذار شیشـه‌ای در پودرهـای تولیـدی کاهش یابد. همچنین در شکل 6 و 7 ارتباط بین محتوی رطـوبتی و دمای‌گذار شیشه‌ای را در ضخامت‌های مختلف نشان می‌دهد کـه بـا افزایش محتوی رطوبتی، دمای‌گذار شیشه‌ای در هر دو ضخامت 3 و 5 میلی‌مترکاهش یافت.



شکل6-اثر دمای‌گذار شیشه‌ای بر رطوبت در ضخامت 3 میلی‌متر



شکل7-اثر دمای گذار شیشه ای بر رطوبت درضخامت 5 میلی‌متر

نتیجه‌گیری

در این پژوهش استفاده از تکنولوژی‌های نوین نظیر استفاده از روش کف‌پوشی و خشک کردن با مایکروویو برای کاهش میزان صدمات خشک کردن استفاده شد و برای کنترل کف در طی تشکیل از گاز نیتروژن و برای پایداری از صمغ زانتان استفاده گردید شرایط بهینه‌یابی تولید کف شیر موز به روش رویه سطح پاسخ بر مبنای سه متغیر سرعت گاز نیتروژن (2 -0/2 لیتر بر دقیقه)، میزان صمغ گزانتان (0/25 -0/15 درصد) و نسبت شیر به موز (1-6 و 1-3) بررسی گردید. بهینه‌سازی در این پژوهش بر مبنای بالاترین پایداری و کمترین دانسیته کف برای نرم افزار تعریف گردید و تیمار پیشنهادی گاز نیتروژن با سرعت 0/2 لیتر بر دقیقه، 0/22 درصد صمغ گزانتان و 3 درصد موز دارای دانسیته 0/39 و بیشترین پایداری (میزان آب‌اندازی صفر میلی‌لیتر بعد از یکساعت) بود. برای فرایند خشک‌کردن تأثیر سه ولتاژ متفاوت دستگاه مایکرویو (360، 660 و 900 ولت) و دو ضخامت 3 و 5 میلی‌متر بر روی نمونه بهینه ارزیابی شد. براساس نتایج مشخص گردید از این رو تیمار فوق به‌عنوان نمونه بهینه انتخاب گردید و با انرژی مایکروویو خشک شد. نتایج این بخش به وضوح نشان داد نمونه خشک شده با ضخامت 3 میلی‌متر تحت ولتاژ 900 ولت دارای بالاترین میزان روشنایی *L و بالاترین دمای‌گذار شیشه‌ای و کمترین میزان رطوبت بود.

منابع

صلاحی،م.1394،بهینه سازی شرایط تولید فرایندکف پوشی طالبی(*Cucumis melo*)و بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن،پایان نامه کارشناسی ارشد،دانشگاه فردوسی مشهد.

AACC (American Association of Cereal Chemists)., 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th ed. Method 14-50. *The Association.* Inc., St. Paul, MN, USA.

Andre, Rodolph, T.J., Puiggali, w. and Jannot.Y. 2004. Shrinkage and density evolution during drying of tropical fruits: application to banana. *Journal of food engineering*, 64: 103-709.

Arslan D., Ozcan M.M. and Okyay Menges H. 2010. Evaluation of drying methods with respect to drying parameters, some nutritional and colour characteristics of peppermint (*Mentha x piperita* L.). *Energy Conver and Manage*, 51: 2769- 2775.

Atarodi, m. 2014. Foam mat drying spirulina (spirulina platensis): optimization of foaming conditions and investigation of powder properties, MSc Thesis ferdowsi university of Mashhad, [in Persian].

Azizpour, M., Mohebbi, M., KHodaparast, M.H.H. and Varidi, M. 2013. Foam-mat drying of shrimp: Characterization and drying kinetics of foam. *CIGR J*, *15*: 159–165.

Bag, S.K., Srivastav, P.P., and Mishra, H.N. 2011. Optimization of process parameters for foaming of Bael (*Aegle marmelos* L.) fruit pulp. *Food and Bioprocess Technology*, 4(8): 1450-1458.

Datta, A. K. and Anantheswaran, R. C. 2001). *Handbook of microwave technology for food applications*. New York: Marcel Dekker.

Devries, A.J. 1958. Foam stability: A fundamental investigation of the factors controlling the stability of foam. *Rubber Chem. Technol*, *31*: 1142–1205.

Falade, K.O. and SOLADEMI, J.S. 2010. Modeling of air drying of fresh and blanched sweet potato slices. Int. J. Food Sci. Technol, *45*: 278–288.

Fernandes, F.A.N., Gallo, M.I. and Rodrigues, S. 2008. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT–Food Science and Technology*, 41: 604–610.

Germick, R.J., Rehill, A.S. and Narsimhan, G. 1994. Experimental investigation of static drainage of protein stabilized foams – comparison with model. *J. Food Eng*, 23: 555–578.

Haard, N.F.1984.Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables. *Journal of Chemical Education*, 61: 277-283.

Hawlader, M.N.A., Perera, C.O., and Tian, M. 2006. Properties of modified atmosphere heat pump dried foods. *Journal of Food Engineering*, 47: 704-296

Jaya, S. and Das, H. 2004. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tri calcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal of Food Engineering*, 63: 125–134.

Jittanti, W., Niti-Att, S and Techanunatachikul, O. 2010. Study of spray drying of pineapple juice using maltextrin and adjunct.chiang Mai. *Journal of food science*, 37: 498-506.

Jokar, A., Zomorrodiyan, A., Maftoon Azad, N. and Jokar, L. 2011. Using of RSM to determine of dried pomegranate conditions in sun drier. *Journal of agricultural and engineering research*, 1: 57-72.

Kadam, D.M. and Balasubramanian, S. 2010. Foam mat drying of tomato juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1745-4549.

Kadam, D.M., Rai, D.R., Patil, R.T., Wilson, R.A., Kaur, S. and Kumar, R. 2011. Quality of fresh and stored foam mat dried mandarin powder. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(4): 793-799.

Karim, A.A. and Wai, C.C. 1999. Characteristics of foam prepared from star fruit (*Averrhoa carambola* L.) puree by using methyl cellulose. Food Hydrocolloids, 13: 203–210.

Kolawole, O. F. and Okocha, O. J. 2010. Foam-mat drying of plantain and cooking banana (*Musa* spp.). *Food Bioprocess Technology*, 5 (4): 1173- 1180.

Li, Y., Xu, S.Y. and Sun, D.W. 2007. Preparation of garlic powder with high allicin content by using combined microwave–vacuum and vacuum drying as well as microencapsulation. *Journal of Food Engineering*, 83: 76–83.

Maskan, A., Kaya, S. and Maskan, M. 2002. Hot air and sun drying of grape leather (*pestil*). *J. Food Eng*, *54*: 81–88.

Paseban, a. 2011. Optimization of processes parameters for foam mat drying of mushroom. Msc thesiss of ferdowsi university Mashhad, [in Persian].

Prabhanjan, D.G., Ramaswamy, H.S. and Raghavan, G.S.V. 1995. Microwave assisted convective air drying of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, *25*(2): 283-293.

Prins, A. 1988. Principles of foam stability. In *Advances in Food Emulsions and Foams* (E. Dickinson and G. Stainsby, eds.) pp. 91–122, Elsevier Applied Science, New York, NY.

Qiu, L., Zhao, G., Wu, H., Jiang, L., Li, X., and Liu, J. 2010. Investigation of combined effects of independent variables on extraction of pectin from banana peel using response surface methodology. *Carbohydrate Polymer*, DOI: 10.1016/j. carbpol. 2010. 01.018.

Raharitsif, N., Genovese, D.B. and Ratti, C. 2006. Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose. *Int. J. Food Sci*, *71*: 142–151.

Soysal Y., Oztekin S. and Eren O. 2006. Microwave drying of parsley: modelling, kinetics, and energy aspects. *Biosystems Engineer*, 93(4): 403- 413.

Stauffer, C. E. 1999. *Emulsifiers*. St. Paul, Minnesota: Eagan Press.

Sutar, P.P. and Prasad, S. 2007. Modeling microwave vacuum drying kinetics and moisture diffusivity of carrot slices. *Drying Technology*, *25*(10): 1695-1702.

Taufiq, A.M., Yusof, Y.A., Chin, N.L., Othman, S.H., Serikbaeva, A. and Aziz, M.G. 2015. Physicochemical properties of tamarind and pineapple fruit pulps and power. *International Food Research Journal*, 707-712.

Tavakolipour, H. 2009. Drying of food and agricultural productions, [in Persian].

Vahideh, R.R.N., Narendra, J. and Gabriel, F. 2008. Effect of osmotic pre-dehydration on drying characteristics of banana Fruits. *Journal of Food Technology*, 28(2):269-273.

Wojdyło, A., Oszmianski, J. and Czemerys R. 2007. Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. *Food Chemistry*, 105: 940- 949.

Xian-Zhe Zheng, Cheng-Hai Liu and He Zhou. 2011**.** Optimization of Parameters for Microwave-Assisted Foam Mat Drying of Blackcurrant Pulp. *Drying Technology*, 29: 230–238.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 14, No. 2, June. July. 2018, p. 283- 296

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 14، شماره 2، خرداد- تیر 1397 ص.296-283

Foam mat drying of banana milk using microwave and evaluation of resulting powders's properties

F. Pourhaji[1], F. Tabatabaei Yazdi[2*], S. A. Mortazavi[2], M. Mohebbi[2], M. Mazaheri Tehrani[2]

Received: 2016.11.25
Accepted: 2017.07.06

Introduction: Banana is one of the most consumed fruit in the world and is cultivated almost in all tropical countries. This fruit has a high nutritional value and is a suitable source of energy due to the presence of high amount of starch, sugar, vitamin A and C, potassium, sodium, and magnesium. Banana is highly vulnerable after harvesting and is subject to the microbial spoilage due to the high moisture content which makes difficult its sales and exports. Therefore, several methods have been used to overcome these problems. Drying and dehydration are methods to extend the shelf life of banana which usually carries out by hot air. This method can prevent some degree of microbial spoilage, but it has some disadvantages such as changing color, taste, flavor and reducing the nutritional value.

Foam-mat drying as a substitute for hot air drying introduces some advantages such as using the microwave energy. In this method, food products are whipped to form stable form and then dehydrated by thermal means. Due to the larger surface area and accelerated moisture transfer from foam, food products can be dried at lower temperature and time by this method of drying. Moreover, the porous structure of dried foam results in a faster rehydration and solubility of dried food samples. Additionally, microwave-assisted drying results in a product with better quality because of faster rate and saving energy.

Materials and methods: The fresh banana was cut into small pieces with a diameter of 1.0 mm after peeling. To prevent the enzymatic browning of samples, blanching was carried out by boiling water (100 °C) for 3 min. After that, the banana cuts were placed in a container containing 10°C water in order to cool. To produce pulps, the homemade Bosch mixer (model w600, CNSM, 30EW, Slovenia) at a speed of 1500 rpm and 1.0 min was used. Then, the pulps were mixed with skim milk at different concentrations (3-6 % w/w) and homogenized by ultra-turrax (IKA® Labortechnik) at 10000 rpm for 5.0 min. Moreover; the prepared xanthan gum was added to the mixture at concentrations of 0.15 and 0.25%. Xanthan gum was prepared by adding 1.0 g gum into 100 mL water and mixing by magnet stirrer. Afterwards, the gum solution was kept overnight at 4 °C for complete hydration. Finally, the sample transferred into the foam-maker device which was connected to a nitrogen gas tank with different flow rate (0.2-2 L min-1). The speed and time were adjusted to 16000 rpm and 5.0 min, respectively. After the producing of banana milk foam and selecting optimum sample based on the lowest density and the highest stability, the drying kinetic of this sample was studied. Then the banana milk foam was dried using microwave (360, 660 and 900 V) in a glass plate with diameter of 3.0 and 5.0 mm. Foam density and stability were determined by the methods of Xian-Zheetal (2010), Stauffer (1999) and Bag et al. (2010). The color of samples was studied by hunterlab. Moisture content also was measured based on the AACC standard method (AACC, 2000). Glass transition temperature also was determined by differential scanning calorimetry (DSC, model OIT-500 Sanaf Electronics Co, Iran).

Results and Discussion: In the present study, foam-mat method and microwave drying were used to reduce the drying damages. Nitrogen gas and xanthan gum also were used respectively to control foam generation and improve the stability of foams. Optimization of the banana milk production was carried out using response surface methodology based on three variables including the rate of nitrogen gas (0.2-2 L min-1), concentration of xanthan gum (0.15-0.25 %) and milk to banana ratio (1:6 and 1:3). Optimization was done based on the highest stability and lowest foam density. The optimum condition was proposed as the nitrogen gas rate of 0.2 L min-1, xanthan gum of 0.22 % and 3% banana which showed the density of 0.39 and the highest stability (0 mL after 1.0 h). After that, the optimum sample was dried by microwave. The effects of three levels of microwave voltage

1 and 2. Ph.D Student and Professor, Department of Food and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.
(*Corresponding Author Email: tabatabai@um.ac.ir)

(360, 660 and 900 V) and two diameters (3 and 5 mm) were evaluated for drying of optimum sample. The results showed that the sample dried with diameter of 3 mm and voltage of 900 V had the highest L*, highest glass transition temperature and the lowest moisture content.

Keywords: Optimization, banana milk foam, glass transition temperature, response surface methodology, xanthan gum.